

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
30. Mai 2002 (30.05.2002)

PCT

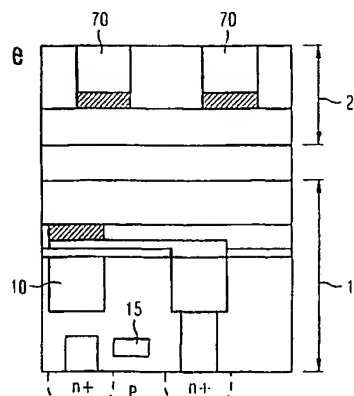
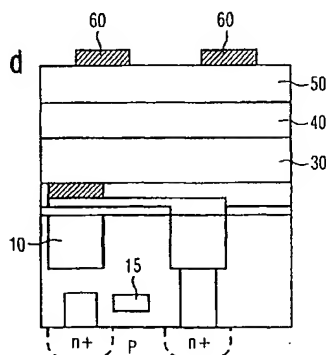
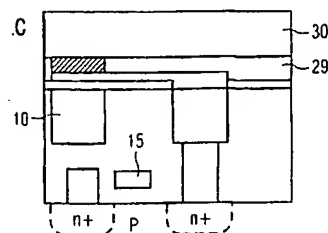
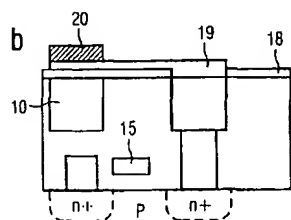
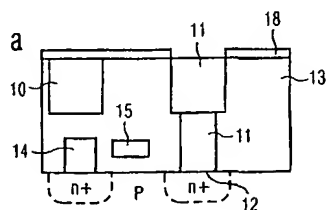
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/43067 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G11C** (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **INFINEON TECHNOLOGIES AG** [DE/DE]; St.-Martin-Strasse 53, 81669 München (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE01/04091**
- (22) Internationales Anmeldedatum: 29. Oktober 2001 (29.10.2001) (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **MÜLLER, Gerhard** [DE/DE]; Troppauer Strasse 13, D-86405 Meitingen (DE). **SCHLÖSSER, Till** [DE/DE]; Stendahler Strasse 10, 01109 Dresden (DE).
- (25) Einreichungssprache: **Deutsch**
- (26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch** (74) Anwalt: **EPPING HERMANN & FISCHER**; Ridlerstrasse 55, 80339 München (DE).
- (30) Angaben zur Priorität: 100 58 047.5 23. November 2000 (23.11.2000) **DE** (81) Bestimmungsstaaten (national): **CN, JP, KR, US**.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: INTEGRATED MEMORY WITH AN ARRANGEMENT OF NON-VOLATILE MEMORY CELLS AND METHOD FOR THE PRODUCTION AND OPERATION OF AN INTEGRATED MEMORY

(54) Bezeichnung: INTEGRIERTER SPEICHER MIT EINER ANORDNUNG VON NICHT-FLÜCHTIGEN SPEICHERZELLEN UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG UND ZUM BETRIEB DES INTEGRIERTEN SPEICHERS



(57) Abstract: An integrated memory with an arrangement of non-volatile ferromagnetic storage based memory cells, comprising high-power memory cells having a magnetoresistive effect (1) with transistor control, and low-cost memory cells having a magnetoresistive effect (2) with memory elements (60) connected between the word lines (70) and bit lines (50). The memory elements (60) directly connected between a bit and a word line (60) are preferably used in the form of memory cell fields which can be superposed on top of the memory cells (1) with a transistor (9), resulting in a high integration density. Production costs are reduced significantly by producing the memory, which comprises two types of cells and meets all system requirements, in a single module and single operation cycle.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/43067 A2



(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

---

(57) **Zusammenfassung:** Ein integrierter Speicher mit einer Anordnung vom nicht-flüchtigen, auf ferromagnetischer Speicherung beruhender Speicherzellen umfaßt sowohl leistungsfähige Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt (1) mit Transistorsteuerung als auch kostengünstige Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt (2) mit zwischen den Wortleitungen (70) und Bitleitungen (50) geschalteten Speicherelementen (60). Die direkt zwischen Bit und Wortleitung geschalteten Speicherelement (60) werden vorzugsweise in übereinander stapelbaren Speicherzellenfeldern über den Speicherzellen (1) mit Transistor (9) eingesetzt, und erreichen dadurch eine hohe Integrationsdichte. Durch die Herstellung des aus beiden Typen bestehenden und dadurch allen Systemanforderungen genügenden Speichers in einem Baustein und in einer Prozessfolge erniedrigen sich die Herstellungskosten erheblich.

## Beschreibung

Integrierter Speicher mit einer Anordnung von nicht-flüchtigen Speicherzellen und Verfahren zur Herstellung und zum Betrieb des integrierten Speichers

Die vorliegende Erfindung betrifft einen integrierten Speicher mit einer Anordnung von nicht-flüchtigen Speicherzellen sowie ein Verfahren zur Herstellung und zum Betrieb des integrierten Speichers.

Nicht-flüchtiger Speicher wird in vielen Systemen mit diskreten Speicherbausteinen verwendet, wobei die Auswahl der verwendeten Speicherbausteine von den speziellen Anforderungen des jeweiligen Systems abhängt. Üblicherweise kommen dabei sowohl Bausteine aus Speicher mit schnellen Lese- und Schreibzeiten, z.B. SRAM (Static Random Access Memory), sowie kostengünstigere Bausteine mit langsamerem Zugriff aber höheren Integrationsdichte der Speicherelemente, z.B. Flash-Speicher, zum Einsatz.

Neben anderen Architekturen nicht-flüchtiger Speicher, etwa ferroelektrischem Speicher (FeRAM), wurde auch ferromagnetische Speicherung (MRAM) für die Verwendung in diskreten Bausteinen vorgeschlagen, wobei die Speicherung in Zellen mit Hilfe des magnetoresistiven Effektes erzielt wird. Dabei wird ausgenutzt, daß der elektrische Widerstand zweier ferromagnetischer Schichten von deren gegenseitiger Ausrichtung ihrer magnetischen Polarisierung abhängt. So kann ein Zustand "0" dem elektrischen Widerstand bei paralleler Polarisierungsrichtung entsprechen sowie der Zustand "1" dem elektrischen Widerstand bei antiparalleler Polarisierungsrichtung. Der Unterschied im elektrischen Widerstand zwischen den beiden möglichen Ausrichtungen beträgt allerdings nur 15 % für GMR-Elemente (Giant Magnetoresistive Effect) bis hin zu 50 % für TMR-Elemente (Tunnelling Magnetoresistive Effect).

Die aus zwei ferromagnetischen Schichten bestehenden und durch eine dielektrische Schicht getrennten Elemente werden an den Schnittpunkten der sich kreuzenden Bitleitungen und Wort- bzw. Schreibleitungen angebracht, so daß eine elektrische Verbindung von der Bitleitung über den GMR- bzw. TMR-Widerstand zur Wortleitung besteht. Durch Messung des Stromes über die aktive Bit- beziehungsweise Wortleitung mit Hilfe von Leseverstärkern kann der elektrische Widerstand bestimmt und damit die gegenseitige Ausrichtung der magnetischen Polarisation der ferromagnetischen Schichten bestimmt werden.

Je nach Ausführung einer MRAM-Zelle ist es durch eine zusätzliche, zur Wortleitung parallelen und vom ferromagnetischen Element isolierten beziehungsweise durch eine mit der Wortleitung identischen Schreibleitung möglich, anhand Strom führend geschaltete Bit- und Schreibleitungen mittels Überlagerung an ihrem Kreuzungspunkt ein derart großes Magnetfeld zu generieren, daß eine 180 Grad umfassende Drehung der magnetischen Polarisationsrichtung einer ersten variablen ferromagnetischen Schicht gegenüber der in magnetischer Ausrichtung fixierten zweiten ferromagnetischen Schicht möglich wird. Wird analog zur Struktur herkömmlicher dynamischer Speicher (DRAM, Dynamic Random Access Memory) ein Netz parallel verlaufender Bitleitungen und dazu quer verlaufender Wort- bzw. Schreibleitungen verwendet, so wird unter Zuhilfenahme entsprechender Spalten- und Zeilentreiber eine Adressierung der Speicherzellen zum Lesen bzw. Schreiben ermöglicht.

Für den Aufbau von Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt gibt es im wesentlichen zwei Möglichkeiten. Eine erste Ausführungsform ist z.B. aus Durlam et al., „International Solid State Circuits Conference“, IEEE, 2000, Seiten 130 bis 131 bekannt, wobei durch Verwendung eines Auswahltransistors in der Speicherzelle ein Strompfad von der Bitleitung über das ferromagnetische Speicherelement an das Massenpotential durch die Wortleitung aktiv geschaltet werden kann. Für den Schreibvorgang wird der Transistor durch die Wortleitung ge-

sperrt, während durch die Schreibleitung ein Strom fließt. Diese Architektur bietet den Vorteil einer sehr schnellen Zugriffszeit von wenigen Nanosekunden, kann aber die Möglichkeiten einer sehr kleinen Dimensionierung durch das ferromagnetische Element nicht nutzen, da die beanspruchte Fläche durch den wesentlich größeren Auswahltransistor bestimmt wird und wie beim herkömmlichen dynamischen Speicher (DRAM) zu  $8 F^2$  ausfällt, wobei  $F$  die minimale Strukturgröße auf dem Substrat ist.

Aus WO 99/14760 A1 ist hingegen eine Architektur eines ferromagnetischen Speichers bekannt, bei der das Speicherelement mit magnetoresistivem Effekt direkt zwischen die Bit- und Wortleitung geschaltet sind, wobei ohne Verwendung eines Auswahltransistors der Strom an der ausgewählten Bitleitung mittels eines Leseverstärkers ausgewertet werden kann. Verursacht durch einen vergleichsweise hohen inneren Widerstand der Wort- bzw. Bitleitungen relativ zum Widerstand der Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt können parasitäre Strompfade auftreten. Zudem unterscheiden sich die zu messenden Stromstärken für die beiden Zustände der Speicherzelle nur um 10 bis 30 %, so daß die Widerstände der ferromagnetischen Elemente von vornherein sehr hoch dimensioniert werden müssen. Da ein Auswahltransistor bei dieser Architektur vermieden wird, kann daher mit einer Zellfläche von  $4 F^2$  eine hohe Integrationsdichte der Speicherzellen erreicht werden. Dieser Vorteil muß allerdings mit dem Nachteil einer langen Zugriffszeit von 0,5 - 1  $\mu$ s abgewogen werden.

Durch Zusammenstellung diskreter Bausteine aus Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt lassen sich wie bei der elektrischen Speicherung den jeweiligen Systemanforderungen genügender Speichermodule aufbauen, indem z.B. sowohl Speicher mit schneller Zugriffszeit als auch solcher mit hoher Integrationsdichte in zwei diskreten Bausteinen verwendet wird. Allerdings werden auch die inhärenten Nachteile der Einzelbaustei-

ne mit in das Gesamtsystem überführt, und führen dabei nachteilig zu erheblich höheren Herstellungskosten.

5 Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Anordnung von Speicherzellen anzubieten, welche zu ihrer Herstellung niedrige Kosten aufweist und gleichzeitig eine hohe Integrationsdichte mit schnellen Lese- und Schreibzeiten ermöglicht.

10 Die Aufgabe wird gelöst durch einen integrierten Speicher mit einer Anordnung von nicht-flüchtigen Speicherzellen, welche wenigstens eine erste und eine zweite Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt umfaßt, die an Kreuzungspunkten jeweils zwischen Bitleitungen und dazu quer verlaufenden Wortleitungen angebracht sind, bei dem die erste Speicherzelle  
15 mit magnetoresistivem Effekt einen Transistor enthält, welcher durch die Wortleitung ansteuerbar ist und welcher für einen Zugriff auf die erste Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt mit der Bitleitung und dem zugehörigen Speicherelement einen Strompfad zu einem Versorgungs- oder Massenpotential bildet, und bei dem das Speicherelement der  
20 zweiten Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt zwischen Bitleitung und Wortleitung geschaltet ist.

25 Der vorliegenden Erfindung zufolge wird die vorteilhafte Ausgestaltung eines nicht-flüchtigen Speichers mit schneller Zugriffszeit und hoher Integrationsdichte innerhalb eines diskreten Speicherbausteins realisiert. Durch eine Kombination von Anteilen im integrierten Speicher, nämlich der Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt mit Transistor und der  
30 z.B. direkt zwischen Bit- und Wortleitung geschalteten Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt, können je nach Systemanforderung flexible, schnelle und preiswerte Speicherbausteine geschaffen werden, die durch die Integration auf einem diskreten Baustein erheblich niedrigere Herstellungskosten aufweisen.  
35

Vorzugsweise werden die beiden verwendeten Architekturen für Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt jeweils mit eigenen Sätzen an Wort- und Bitleitungen ausgestattet. Dazu sind dann auch entsprechende Sätze an Treibern für die so entstehenden Speicherzellenfelder sowie eine entsprechende Logik für die Adressierung vorzusehen. Hingegen ist auch eine gemeinsame Ausgestaltung innerhalb eines Speicherzellenfeldes möglich. Während die Speicherzellenfelder mit magnetoresistivem Effekt mit Auswahltransistoren im allgemeinen an das monokristalline Siliziumsubstrat gebunden sind, sind für die direkt zwischen Bit- und Wortleitung geschalteten Speicherzellen auch andere Ausführungsformen der relativen Anordnung in Betracht zu ziehen. Durch platzsparende Assoziierung an andere Bauelemente auf dem Speicherbaustein oder auf einem Logikbaustein mit assoziiertem Speicher kann zudem eine noch wirkungsvollere Integrationsdichte erzielt werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung wird eine Stapelung der Speicherzellenfelder, die sich in der untersten, substratseitigen Ebene aus den Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt mit Transistor, und in dem darüber folgenden Ebenen aus den Speicherzellen mit zwischen Bit- und Wortleitung geschalteten Speicherelementen zusammensetzen, aus der Substratebene heraus bis in höhere Schichten erreicht. Hierdurch wird eine maximale Anzahl von Speicherzellen je Substratgrundfläche erreicht, wobei die Stapelungstiefe lediglich von der Treiberlogik und ihrem zwangsläufig größer werdenden Abstand zum jeweiligen Speicherzellenfeld abhängt. Andererseits wird auch mit größer werdender Stapelungstiefe der Anteil an schnellem Speicher bestehend aus Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt mit Transistoren immer geringer, so daß mit einer ausgewogenen Kombination aus Anteilen beider Speicherarten vorteilhaft höhere Integrationsdichten, schnellerer Zugriff und niedrigere Herstellungskosten erreicht werden.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird auch eine Kombination von Speicherzellen mit GMR-Elementen sowie mit TMR-Elementen betrachtet. Durch diese Ausführungsform wird eine weitere Leistungs- und Kostenabstufung innerhalb des Speichers ermöglicht.

- In einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung wird das gezielte Durchbrechen der nur wenige Nanometer dicken dielektrischen Barrierschicht im TMR-Element betrachtet.
- 10 Dies wird durch Anlegen einer hohen Spannung an die betreffenden Zellen erreicht, wonach die Polarisationsrichtung der frei einstellbaren ferromagnetischen Schicht an jene der fixierten ferromagnetischen Schicht angekoppelt wird und damit ebenfalls fixiert ist. Der Zustand der Polarisationsausrichtung der Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt entspricht dadurch dauerhaft demjenigen, bei dem das Durchbrechen durchgeführt wurde. Hierdurch kann ein leistungsfähiges, fest vorprogrammiertes ROM (Read-Only Memory) realisiert werden.
- 15
- 20 Eine weitere Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung stellt die Speicherzelle mit Diode dar. Diese kann insbesondere für den Fall vorgesehen werden, bei dem die Speicherzelle nicht durch einen Transistor gesteuert wird. Die Diode wird dabei mit dem Speicherelement zwischen die Wort- und Bitleitung in Reihe geschaltet. Dadurch wird ein Verfahren ermöglicht, mit dem durch eine geeignete Spannungsverteilung über die Wort- bzw. Bitleitungen der Speicherzellen parasitäre Ströme verhindert werden können.
- 25
- 30 Bei diesem Verfahren, das zum Auslesen einer Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt mit Diode angewandt wird, wird von allen Wortleitungen des Speicherzellenfeldes diejenige mit einer höheren Spannung betrieben, die die auszulesende Speicherzelle durchläuft, während alle anderen Wortleitungen mit einer niedrigeren, zweiten Spannung betrieben werden. Wie im herkömmlichen Fall wird zwar die Bitleitung der auszulesenden Speicherzelle mit der zweiten niedrigeren Spannung be-
- 35



trieben, jedoch alle anderen Bitleitungen werden mit der ersten höheren, wie jener bei der Wortleitung der auszulesenden Speicherzelle betriebenen Spannung gesteuert. Dadurch liegt ein Spannungsgefälle nur zwischen der Wortleitung und der  
5 Bitleitung der auszulesenden Speicherzelle vor. Für alle anderen Speicherzellen liegen entweder gleiche Spannungen beziehungsweise Spannungssteigungen vor. In diesem Fall verhindern die Dioden in den Speicherzellen das Fließen entgegengesetzter Ströme. Dadurch werden wirkungsvoll parasitäre  
10 Strompfade verhindert. Die Widerstände der Speicherelemente können dadurch niedriger dimensioniert und die Zugriffsgeschwindigkeiten vorteilhaft erhöht werden.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung betrifft die gemeinsame Zuordnung von Bit- oder Wortleitungen zu Speicherzellen aus übereinanderliegenden Speicherzellenfeldern. Dabei befinden sich zwischen den übereinanderliegenden Speicherzellen bzw. Speicherzellenfeldern keine isolierenden Schichten, sondern die oben liegenden Leitungen des unteren Speicherzellenfeldes werden in umgekehrter  
20 Anordnung als Leitung gleichen Typs von der darüber liegenden Schicht an Speicherzellen verwendet. Zwar wird dadurch nur ein abwechselnder Zugriff auf die jeweiligen Speicherzellenfelder ermöglicht und somit die Speicherzugriffsrates insgesamt nicht erhöht, aber die Zahl der Prozeßschritte zur Herstellung der Speicherzellenfelder, insbesondere die Zahl der Lithographieschritte kann erheblich verringert werden. Daraus ergibt sich eine erhebliche Einsparung an Herstellungskosten sowie eine noch höhere Integrationsdichte.

30

Der Vorteil der Zusammenfassung der beiden Typen von Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt in genau einem integrierten Speicher wird besonders deutlich bei dem Verfahren zur Herstellung dieser Anordnung. Die Stapelung von der untersten Speicherzellenschicht auf dem Substrat bis hin zur  
35 obersten Speicherzellenschicht bestehend aus Speicherzellen,

die zwischen Wort- bzw. Bitleitungen geschaltet sind, kann nämlich in einer Prozeßfolge dargestellt werden.

Die Anordnung von Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt in einem integrierten Speicher und das Verfahren zur Herstellung dieser Anordnung sollen im folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. Es zeigen:

Figur 1 zeigt Ersatzschaltpläne für Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt mit Transistor (a), mit direkt zwischen Wort- und Bitleitung geschaltetem Speicherelement (b) und mit zwischen Wort- und Bitleitung in Reihe geschaltetem Speicherelement und einer Diode (c).

Figur 2 zeigt einen Querschnitt durch die Speicherzellen bei einer Prozeßabfolge zur Herstellung des integrierten Speichers in 5 aufeinanderfolgenden Schritten (a-e).

Der hier beispielhaft gezeigte integrierte Speicher besteht aus 2 Typen von Speicherzellen, deren Ersatzschaltbilder in Figur 1a und 1b dargestellt sind. Substratseitig (siehe Figur 1a) befindet sich eine Vielzahl von Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt 1 mit Transistor 9 an den Kreuzungspunkten von untereinander vorzugsweise parallelen Wortleitungen 15 und dazu jeweils quer verlaufenden Bitleitungen 30. Zum Auslesen von Informationen schaltet die Wortleitung 15 den Transistor 9 auf leitend, welcher einen Strompfad von der Bitleitung 30 über das magnetoresistive Speicherelement 20, den Brückenkontakt 19 und den Metallkontakt 11 an ein Massenelement 14 ermöglicht. Statt des Massenelements 14 ist auch eine rückführende Leitung mit Spannungsversorgung möglich. Die Verwendung des Transistors 9 gewährleistet, daß nur der genannte Strompfad vorliegt, also insbesondere keine nennenswerten Ströme über Speicherelemente 20 anderer, nicht ausgewählter Wortleitungen 15 ausweichen können, da sich deren Transistoren 9 in einem nichtleitenden Zustand befinden.

Zum Schreiben von Information wird die jeweils zur Wortleitung 15 parallele, nahe am Speicherelement 20 verlaufende Schreibleitung 10 mit Strom versorgt, so daß bei gleichzeitiger Aktivierung der Bitleitung 30 ein hinreichend großes, überlagertes Magnetfeld induziert wird, welches die magnetische Polarisierung im Speicherelement 20 beeinflußt.

Dieses substratseitige, durch die Bit- und Wortleitungen aufgespannte Feld von Speicherzellen wird - durch eine isolierende Schicht getrennt - von einem weiteren Speicherzellenfeld überlagert. Eine Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt 2 dieses Feldes ist in Figur 1b gezeigt. Darin fließt zum Auslesen bei aktivierter Wortleitung 70 ein Strom über das Speicherelement 60 zur Bitleitung 50. Mittels z.B. eines invertierenden Leseverstärkers kann daraus ein Signal erzeugt werden, welches durch eine Zuordnung zu einem der beiden Polarisationszustände des aktiven Speicherelementes ausgewertet werden kann.

Um die bei dieser Architektur möglicherweise auftretenden parasitären Strompfade zu verhindern kann in einer erweiterten Ausführung das Einfügen einer Diode 80 in den Strompfad zwischen Wortleitung 70 und Bitleitung 50 betrachtet werden, welches in Figur 1c dargestellt ist. Bei Steuerung der zur auszulesenden Speicherzelle zugehörigen Wortleitung 70 mit z.B. 3 Volt sowie aller weiteren Wortleitungen mit 0 Volt, und der zur auszulesenden Speicherzelle zugehörigen Bitleitung 50 mit 0 Volt sowie aller weiteren Bitleitungen 70 mit 3 Volt ergibt sich nur für den Strompfad durch das auszulesende Speicherelement 60 eine positive Spannungsdifferenz zwischen der Wortleitung 70 und der Bitleitung 50, wodurch nur die zu diesem Speicherelement zugehörige Diode 80 in Flußrichtung betrieben wird.

Zum Schreiben von Information wird bei diesem Typ von Speicherzellen der gleiche Mechanismus verwendet wie bei der

Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt 1 mit Transistor 9, nur daß in diesem Beispiel die Wortleitung 70 selbst als Schreibleitung benutzt wird.

5 Für die Herstellung der übereinander gelagerten Anordnung von Speicherzellen wird die unterste Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt 1 wie herkömmlich auf dem CMOS-Basisprozeß aufgebaut, zu dem substratseitig zum Transistor 9 ein Transistorkontakt 12 über einen Metallkontakt 11 besteht, wie in  
10 Figur 2a gezeigt ist. Die zu diesem Transistor gehörige Gateelektrode stellt die Wortleitung 15 der Speicher mit magnetoresistivem Effekt 1 mit Transistor 9 dar. Der Metallkontakt 11 wird isoliert durch eine Oxid- und Nitridschicht 13, durch welche auch die Schreibleitung 10 senkrecht durch die Bildebene in Figur 2a verläuft. Auf diese planarisierte Schicht  
15 wird eine dünne dielektrische Schicht von etwa 10 bis 20 nm abgeschieden und der Metallkontakt 11 in einem Lithographie- und Ätzschritt freigelegt. Nach Aufbringen der Metallschicht für den Brückenkontakt 19 (englisch: „strap contact“) wird  
20 der TMR-Film für das Speicherelement 20 abgeschieden und beide Schichten durch Lithographie- und Ätzschritte auf die gewünschte Formstruktur reduziert, wie in Figur 2b gezeigt ist.

Nach dem Abscheiden und Planarisieren einer weiteren Isolations-  
25 onsschicht 29 wird in weiteren Abscheide-, Lithographie-, Ätz-, Metallabscheidungs-, und Planarisierungsschritten als Metalllinie die Bitleitung 30 strukturiert, wie in Figur 2c zu sehen ist. Mit diesem Schritt ist der Aufbau der Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt 1 mit Transistor abgeschlossen.  
30

Um eine hohe Integrationsdichte und damit niedrige Herstellungskosten zu erreichen, wird eine zweite Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt 2 über die Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt 1 gelagert. Wie in Figur 2d dargestellt,  
35 wird dazu zunächst eine weitere Isolationsschicht 40, bestehend aus Plasmanitrid und -oxid aufgebracht, wonach in einem

weiteren Lithographie- und Ätzschritt mit anschließender Kupferabscheidung die Bitleitung 50 als dritte Metallisierungsebene eingeführt wird. Nach der chemisch-mechanischen Planarisierung wird der TMR-Film für das Speicherelement 60 aufgebracht, welcher aus den zwei ferromagnetischen Schichten getrennt von einer dünnen dielektrischen Schicht besteht. Wie aus Figur 2d ersichtlich, erreicht man für die zweite Speicherzellenebene eine höhere Packungsdichte an Speicherelementen als in der ersten unteren Speicherebene, welches durch die Fläche des sich unterhalb des Transistorkontaktes 12 anschließenden Transistors begründet ist, wohingegen die Fläche der in Figur 2d dargestellten oberen Speicherzelle durch die Größe des Speicherelementes 60 bzw. den minimalen Leitungsabstand zweier Leitungen dominiert wird.

Nach Aufbringen einer weiteren Isolationsschicht, eines Lithografie- und Ätzschrittes sowie einer Kupferverfüllung der Gräben der vierten Metallebene erhält man die Wortleitungen 70, welche nun die Speicherelemente 60 aus TMR-Film zwischen sich und den Bitleitungen 50 einschließen. Nach weiterer Planarisierung und Isolation ist nun auch die Erstellung der Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt 2 abgeschlossen. In nachfolgenden Lagen können nun Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt 2 wiederholt übereinander gestapelt werden.

In einer Erweiterung dieses Durchführungsbeispiels kann durch Integration einer Vorrichtung zum Anlegen einer Spannung von z.B. 10 Volt an die Wortleitung 70 in dem Speicherbaustein das gezielte Durchbrechen der nach heutigem Stand der Technik nur etwa 1-2 nm dicken dielektrischen Schicht zwischen den beiden ferromagnetischen Schichten in den Speicherzellen erreicht werden. Dies entspricht der Realisierung von einmalig programmierbaren Speicher gemäß der vorliegenden Erfindung.

Um in diesem Durchführungsbeispiel eine Kombination von 1 Gb kostengünstigen Massenspeicher und 128 Mb schnellen, leistungsfähigen Speicher herzustellen, wird aus den Speicher-

zellen mit magnetoresistivem Effekt 1 mit Transistor eine  
substratseitige Lage von 128 Mb für das Speicherzellenfeld  
zur Verfügung gestellt, welches nicht-flüchtigen Speicher be-  
reitstellt, und gleichzeitig die Leistungsfähigkeit von sta-  
5 tischem elektrischem Speicher (SRAM) anbietet. Da der Flä-  
chenbedarf einer Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt 2  
mit 4 F<sup>2</sup> nur die Hälfte des Flächenbedarfs der Speicherzelle  
mit magnetoresistivem Effekt 1 mit Transistor beträgt, können  
von diesem Typ kostengünstigeren Massenspeichers vier Lagen  
10 mit 256 Mb direkt über das substratseitig bestehende Spei-  
cherzellenfeld gestapelt werden. Hierbei ist lediglich auf  
die Reservierung von Substratfläche für die Treiber der Spei-  
cherzellenfelder zu berücksichtigen. Somit wird Speicher mit  
schnellem Zugriff, niedriger Degradationsrate im Vergleich zu  
15 elektrischen Speicher, hoher Integrationsdichte und damit  
niedrigen Herstellungskosten zur Verfügung gestellt.

## Bezugszeichenliste

	1	Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt, mit Transistor
5	2	Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt, Speicherelement zwischen Wort- und Bitleitung geschaltet
	9	Transistor
	10	Schreibleitung, Speicherzelle 1
	11	Metallkontakt
10	12	Transistorkontakt
	13	Isolationsschicht
	14	Leitung mit Massenelektrode
	15	Wortleitung, Speicherzelle 1, Gateelektrode
	18	Dielektrische Schicht
15	19	Brückenkontakt
	20	Speicherelement, bestehend aus TMR-Film
	29	Isolationsschicht
	30	Bitleitung, Speicherzelle 1
	40	Isolationsschicht
20	50	Bitleitung, Speicherzelle 2
	60	Speicherelement, bestehend aus TMR-Film
	70	Wortleitung, Speicherzelle 2
	80	Diode

## Patentansprüche

1. Integrierter Speicher mit einer Anordnung von nicht-flüchtigen Speicherzellen (1, 2), welche wenigstens eine erste und eine zweite Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt umfaßt, die an Kreuzungspunkten jeweils zwischen Bitleitungen (30, 50) und dazu quer verlaufenden Wortleitungen (15, 70) angeordnet sind, bei dem
- (a) die erste Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt (1) einen Transistor (9) enthält, welcher durch die Wortleitung ansteuerbar ist, und welcher für einen Zugriff auf die erste Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt (1) mit der Bitleitung (30) und dem zugehörigen Speicherelement (20) einen Strompfad zu einem Versorgungs- oder Massenelement (14) bildet, und
- (b) das Speicherelement (60) der zweiten Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt (2) zwischen Bitleitung (50) und Wortleitung (70) geschaltet ist.
2. Integrierter Speicher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Speicher in einem Substrat angeordnet ist, die erste Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt (1) mit einer Vielzahl von weiteren Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt (1) mit Transistor (9) ein substratseitiges Speicherzellenfeld bildet und daß die zweite Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt (2) mit einer Vielzahl von Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt (2) ein über dem substratseitigen Speicherzellenfeld angeordnetes Speicherzellenfeld bildet.
3. Integrierter Speicher nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine der Speicherzellen ein Speicherelement (20, 60) mit einem großen magnetoresistiven Effekt (GMR) und eine andere Speicherzelle ein Speicherelement (20, 60) mit einem tunnelmagnetoresistiven Effekt (TMR) aufweist.



4. Integrierter Speicher nach einem der Ansprüche 2 oder 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß zu einem Speicherzellenfeld eine Vorrichtung zum Anlegen  
5 einer hohen Spannung an Bitleitungen (30, 50) und Wortleitungen (15, 70) zum Durchbrechen einer dünnen dielektrischen Schicht im Speicherlelement (20, 60) angeschlossen ist.

10 5. Integrierter Speicher nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß jede der Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt (2) eines der Speicherzellenfelder eine Diode besitzt, die mit dem Speicherelement (60) zwischen die Wortleitung (70) und  
15 die Bitleitung (50) in Reihe geschaltet ist.

6. Integrierter Speicher nach einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
20 daß jeweils zwei übereinanderliegende Speicherzellen mit magnetoresistivem Effekt (2) aus verschiedenen Speicherzellenfeldern an eine gemeinsame Bitleitung (50) angeschlossen sind.

25 7. Verfahren zur Herstellung des integrierten Speichers nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die erste Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt (1) auf dem Substrat einschließlich eines CMOS-Prozesses zur Er-  
30 stellung des Transistors (9) gebildet wird, anschließend über der ersten Speicherzelle eine isolierende Schicht (40) erzeugt wird und anschließend die zweite Speicherzelle mit magnetoresistivem Effekt (2) auf der isolierenden Schicht (40) aufgebracht wird.

35

8. Verfahren zum Betrieb des integrierten Speichers nach Anspruch 5, bei der zum Auslesen einer Speicherzelle mit magne-

toresistivem Effekt (2) mit Diode in einem ersten Schritt die mit der auszulesenden Speicherzelle verbundene Wortleitung (70) mit einer ersten Spannung angesteuert wird, und alle anderen Wortleitungen (70) mit einer zweiten Spannung angesteuert werden, welche niedrigerer als die erste Spannung ist, und bei dem die mit der auszulesenden Speicherzelle verbundene Bitleitung (50) mit der zweiten Spannung betrieben wird, und alle anderen Bitleitungen (50) mit der ersten Spannung betrieben werden, und bei dem in einem zweiten Schritt der Stromfluß durch die Bitleitung (50) der auszulesenden Speicherzelle mittels eines Leseverstärkers ausgewertet wird.

1/3

FIG 1a

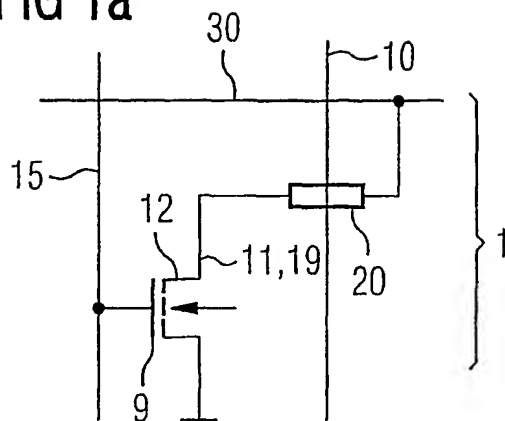


FIG 1b

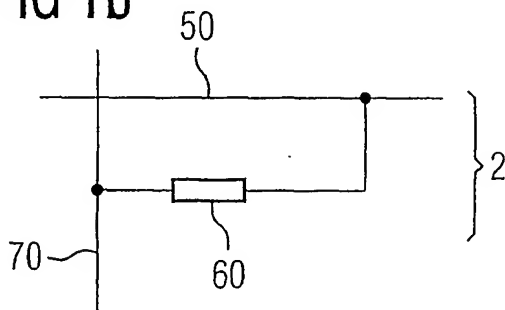
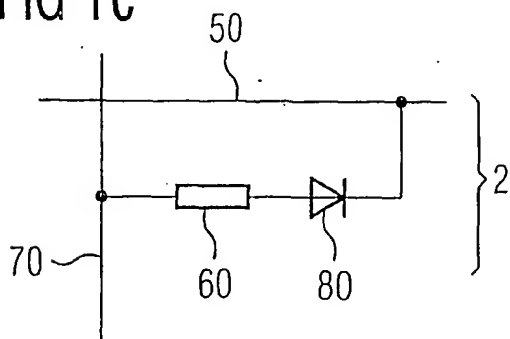
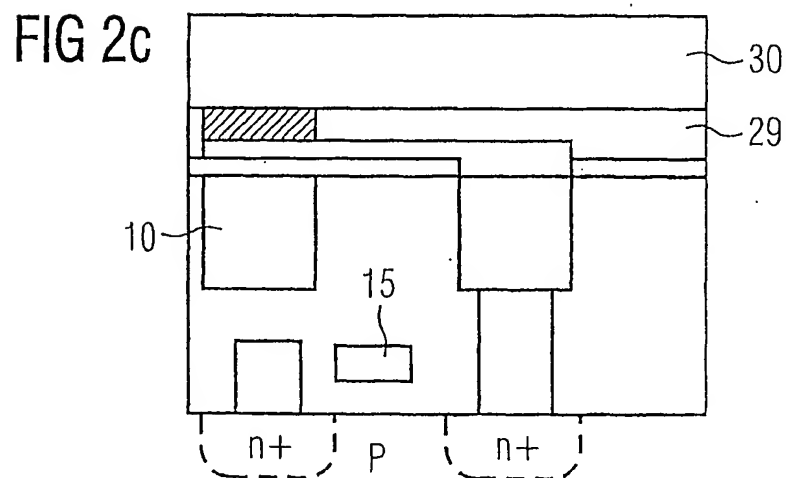
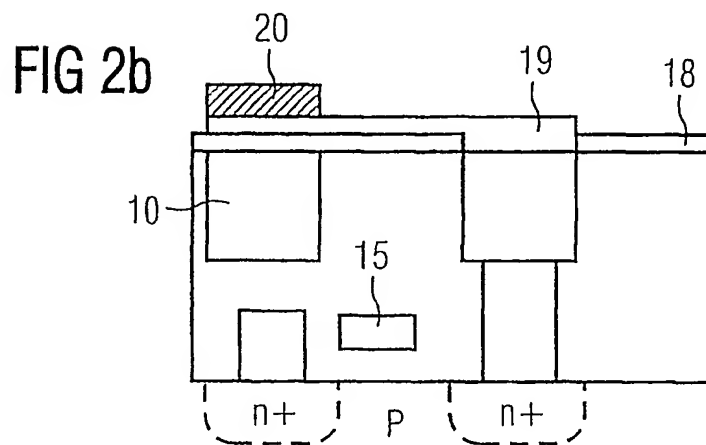
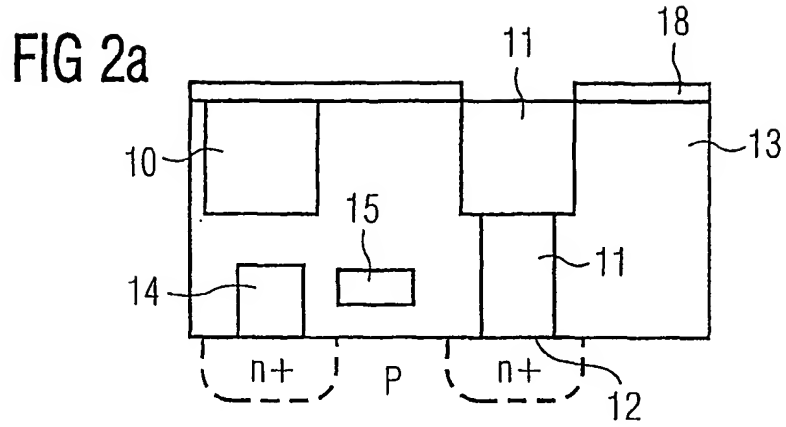


FIG 1c



2/3



3/3

